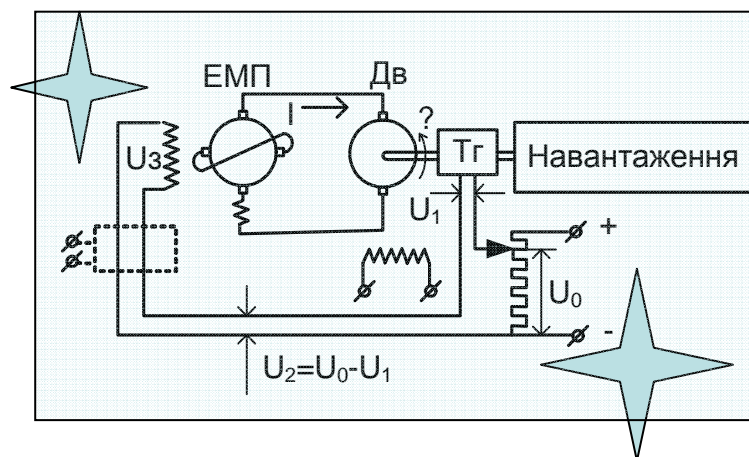


Методичні вказівки

до виконання курсової роботи з курсу “Теорія автоматичного керування”
(для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання для спеціальностей
7.092201 - “Електричні системи і комплекси транспортних засобів”;
7.092202 - “Електричний транспорт”; 7.092203 - “Електромеханічні системи
автоматизації та електропривод”)



Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Теорія автоматичного керування” (для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання спеціальностей 7.092201 - “Електричні системи і комплекси транспортних засобів”, 7.092202 - “Електричний транспорт”, 7.092203 - “Електромеханічні системи автоматизації та електропривод”).
Укл.: Сорока К.О., Личов Д.О. – Харків, ХНАМГ, 2008. – 36 с.

Укладачі: К.О. Сорока, Д.О. Личов.
Рецензент: проф. В.П. Авраменко ХНУРЕ.

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,
протокол № 10 від 26.02.2008 р.

Вступ

Ці методичні вказівки розроблені для виконання студентами денної і заочної форм навчання і факультету підвищення кваліфікації курсової роботи спеціальності “Міський електричний транспорт” дисципліни “Теорія автоматичного керування”.

Перед виконанням курсової роботи, студент повинен вивчити теоретичний курс, основні положення якого об’єднані в ряд тем.

Курс “Теорія автоматичного керування” складає фундамент теоретичних знань, без яких неможливе подальше вивчення дисциплін навчальної програми за спеціальністю “Міський електротранспорт”, обслуговування існуючих та проектування нових автоматичних систем керування. Останні широко застосовуються як в рухомих засобах електротранспорту, так і в системах автоматизованого приводу. Перспективою розвитку міського транспорту є комплексна автоматизація всіх його ланок. Для цього необхідно знати загальні закони побудови й функціонування систем керування, методи їх дослідження та влаштування. Саме ці питання вивчає “Теорія автоматичного керування”.

Курсову роботу виконують на стандартних аркушах паперу формату А4 у відповідності до вимог оформлення текстових документів. Графіки виконують на аркушах міліметрового паперу. Допускається, в разі виконання роботи на комп’ютері, друк графіків на аркушах стандартного розміру.

Курсову роботу захищають в індивідуальному порядку.

1. Основні розділи курсу “Теорія автоматичного керування”

Тема 1 – Основні поняття і визначення теорії автоматичного керування та регулювання. Приклади систем автоматичного керування (САК). Основні елементи систем.

Тема 2 – Вимоги до автоматичних систем керування. Принципи керування. Класифікація САК.

Тема 3 – Типові сигнали випробування САК. Часові й частотні характеристики систем. Перехідна й імпульсна перехідна характеристики. Амплітудно-частотна, фазово-частотна й амплітудно-фазова частотні характеристики. Логарифмічні частотні характеристики.

Тема 4 – Типові ланки САК, їх перехідні й частотні характеристики. Фізичні аналоги.

Тема 5 – Рівняння динаміки САК. Диференційне рівняння і передаточна функція. Характеристичне рівняння. Умова стійкості САК.

Тема 6 – Поняття динамічної ланки. Ланки направленої дії. Типи з'єднань динамічних ланок. Передаточні функції послідовно й паралельно з'єднаних ланок. Передаточна функція ланок зі зворотнім зв'язком.

Тема 7 – Структурний аналіз САК. Структурна схема.. Правила перетворення структурних схем. Передаточна функція складної САК. Зв'язок диференційних рівнянь динаміки САК з передаточною функцією.

Тема 8 – Стійкість САК. Критерії стійкості Гурвіца, Михайлова й Найквіста. Зони стійкості. Запас стійкості.

Тема 9 – Точність керування САК. Статизм системи. Астатичні системи I, II й вищих порядків. Точність керування за вхідною величиною, швидкістю та прискоренням її зміни. Типи регуляторів. Пропорційні (П), пропорційно-диференційні (ПД), пропорційно-інтегральні (ПІ) та ПІД – регулятори. Особливості їх роботи.

Тема 10 – Перехідні процеси в САК. Типи перехідних процесів. Характеристики перехідних процесів.

Тема 11 – Нелінійні САК. Особливості нелінійних систем керування. Типові нелінійні елементи САК.

Тема 12 – Загальна характеристика САК перервної дії. Релейні, імпульсні та цифрові САК.

2. Загальні відомості

Наукова дисципліна про одержання і переробку інформації та використання її для керування в системах різної природи: технічних, біологічних, суспільних називається кібернетикою. Її частиною, що вивчає закони керування в техніці, є теорія автоматичного керування (ТАК). ТАК вивчає закони керування на найбільш загальному абстрактно-теоретичному рівні, без урахування реальної природи систем. Тому її результати мають загальний характер і справедливі як для технічних, так і для біологічних і соціальних систем.

Основним методом вивчення ТАК є математико-аналітичний метод. Поряд з ним використовують експериментальний метод і метод машинного моделювання. Об'єктом вивчення ТАК є системи автоматичного керування.

Система автоматичного керування (САК) – це система, що складається з об'єкта керування і пристрою керування, в якій керування режимом роботи об'єкта здійснюється автоматично без участі людини.

Система керування у вигляді функціональної схеми показана на рис.1.

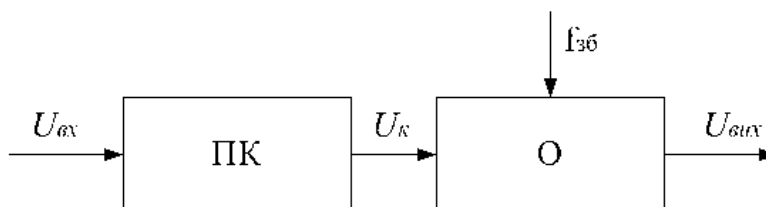


Рис. 1 – Система керування

Тут позначено: О – об'єкт керування; ПК – пристрій керування; $U_{вх}$ – вхідна (керуюча) величина, чи сигнал керування; $U_{вих}$ – вихідна величина, величина яка підлягає керуванню, результат функціонування об'єкта; U_k – дія керуючого пристрою на об'єкт; $f_{зб}$ – зовнішня дія на об'єкт (збурююча дія).

Схема на рис. 1 показує звичайну неавтоматизовану систему керування. У ній вхідна величина задає режим роботи об'єкта. Значення вихідної величини відповідає значенню вхідної (керуючої) величини. Якщо на об'єкт діє стороння сила (на схемі цю сторонню дію зображають стрілкою $f_{зб}$), то вихідна величина може не відповідати керуючій величині $U_{вх}$. У такому випадку виникає потреба додаткового керування, яке, як правило, виконують автоматичні пристрої керування. Автоматичне керування здійснюють за певними алгоритмами, що визначають принципи керування. Принципи керування розглянуто далі.

Розглянемо декілька прикладів систем автоматичного керування. Об'єктом керування може бути будь-який об'єкт навколишнього світу. Вихідні величини – це результат роботи об'єкта, ними можуть бути: температура, швидкість, напрямок руху, інтенсивність освітлення, сила звуку, хімічний склад, тиск, напруга тощо. Об'єкт керування разом з пристроєм керування, якщо керування здійснюється автоматично, утворюють систему автоматичного керування. Наприклад: холодильник з пристроєм керування, що автоматично підтримує потрібну температуру; двигун магнітофона з регулятором швидкості руху магнітної стрічки; система автоматичного регулювання підсилення сигналу в радіоприймачі; зенітна ракета, що самостійно рухається на ціль; ядерний реактор, в якому автоматично підтримується потрібний потік нейтронів; зіниця ока, разом з нервовими закінченнями, мускулами, ділянкою мозку, що забезпечують постійне освітлення сітківки ока, та багато інших. Як правило, говорячи про системи автоматичного керування, не вказують функцій

регулятора, а називають тільки об'єкт керування, як-от генератор електростанції, хімічний реактор, гідросистема автомобіля і т.п.

Оскільки теорія автоматичного керування вивчає системи керування на найбільш загальному теоретичному рівні, то вона має цілий ряд понять, що виражаються певними термінами. Найбільш загальними є: дія, величина і сигнал.

Дія – найбільш загальне поняття, що позначає сукупність факторів чи причин, які призводять до певних змін в об'єкті: збурююча дія – дія, що призводить до збурення об'єкта, відхилення його режиму роботи від потрібного, зовнішня дія – дія зовнішнього середовища на об'єкт тощо.

Величина – це одна з можливих дій, яка має певну фізичну природу й значення. Наприклад, вихідна величина двигуна – швидкість обертання якоря та конкретне її значення; гідросистеми автомобіля – тиск рідини в гідросистемі й конкретне його значення; атомного реактора – потік нейтронів і його інтенсивність.

Сигнал – це інформація про значення величини.

Сигнал завжди передається носієм сигналу. Ним може бути струм, напруга, характеристика певного силового поля, положення механічного регулятора тощо. У ТАК абстрагуються від носія сигналу і до уваги беруть тільки інформаційну сторону, тобто інформацію про значення величини. Отже на схемі рис.1 і в подальших схемах всі величини, зображені стрілками, можна розглядати як сигнали: вхідний сигнал, вихідний сигнал, сигнал збурення і т.п. Проте під час вивчення ТАК не вдаються до такої високої абстракції і поряд з терміном сигнал використовують терміни дія і величина. Вхідну величину здебільшого називають сигналом, оскільки важлива тільки інформація про те, яким повинно бути значення вихідної величини. Вихідну величину, навпаки, майже не називають сигналом, підкреслюючи, що для конкретних систем важливе значення має її фізична природа. Збурення називають дією або величиною, а ось результат вимірювання величини збурення називають сигналом.

Принципи керування. Існують два принципи автоматичного керування: керування за збуренням і керування за відхиленням.

Керування за збуренням здійснюється таким чином, що вимірюється значення величини збурення, сигнал результату вимірювання подається на пристрій керування, пристрій керування аналізує значення величини збурення і діє на об'єкт керування так, щоб забезпечити потрібне значення вихідної величини, компенсувати вплив збурюючої дії.

Схема САК, що працює за принципом керування збуренням, показана на рис.2. Інколи цей принцип керування називають компенсаційним, оскільки керуючий пристрій працює в режимі компенсації дії збурення, викликаного зовнішніми факторами.

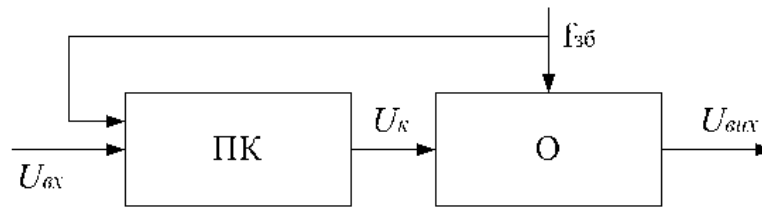


Рис 2 – Функціональна схема САК, що працює за принципом керування за збуренням

Керування за відхиленням здійснюється таким чином, що вимірюється вихідна величина системи, сигнал про її значення за допомогою зворотного зв'язку $U_{зз}$ подається на пристрій керування, пристрій керування порівнює значення сигналу керування $U_{вх}$ і сигналу зворотного зв'язку $U_{зз}$ і залежно від їх різниці (відхилення вихідного сигналу від вхідного) діє на об'єкт керування. Функціональна схема САК показана на рис.3.

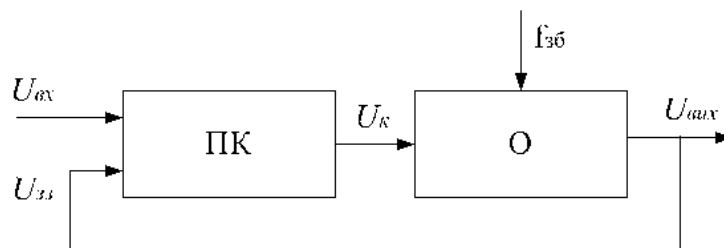


Рис 3 – Функціональна схема САК, що працює за принципом керування за відхиленням

Порівняння принципів керування показує, що системи керування за збуренням мають більшу швидкодію, а системи керування за відхиленням більш інерційні. Більша швидкодія систем керування за збуренням зумовлена тим, що пристрій керування (регулятор) починає діяти на об'єкт як тільки відбудеться зміна збурюючої величини, в той час як при керування за відхиленням дія регулятора розпочинається тільки після зміни режиму роботи об'єкта і помітної зміни вихідної величини. Недоліком керування за збуренням є те, що неможливо врахувати всі величини, які діють на об'єкт, і виконати регулювання за кожною величиною. Керування за відхиленням працює незалежно від величин, які діють на об'єкт, і з цієї точки зору воно є кращим. Проте керуванню за відхиленням через інерційність роботи властива можливість появи автоколивань вихідної величини, що призводить до нестійкості системи керування.

Системи автоматичного керування класифікують за різними ознаками. Дуже велике розповсюдження САК, їх різноманітність приводить до того, що існує досить багато систем класифікації. Розглянемо тільки найбільш загальні:

Класифікація за принципом керування: розімкнуті системи – системи, що працюють за принципом керування за збуренням; замкнуті системи – керування за відхиленням, комбіновані – одночасне використання обох принципів.

Класифікація за призначенням (за характером зміни вхідної величини): системи стабілізації – вхідна величина постійна, завдання системи забезпечити незмінність вихідної величини, слідкуючі системи – вхідна величина змінюється випадковим чином, завдання системи забезпечити відповідну зміну вихідної величини, системи програмного керування – вхідна величина змінюється за певним наперед відомим законом.

Класифікація за характером рівнянь: лінійні системи й нелінійні.

Класифікація за зміною процесів у часі: неперервні, дискретні, числові системи керування.

Класифікація за точністю керування: статичні й астатичні, астатичні першого, другого порядку і т.п.

Класифікація виконується ще за рядом інших ознак, таких як використання зовнішніх джерел енергії для керування, кількістю керуючих величин, здатність системи пристосовуватись до умов функціонування та ін.

ТАК розглядає задачі двох типів, а саме: задачі аналізу й задачі синтезу САК. Аналіз – це вивчення законів регулювання існуючих систем, синтез – розробка і створення САК із заданими характеристиками.

Найбільш важливими завданнями аналізу САК є вивчення таких характеристик:

- стійкість систем керування і запас стійкості;
- точність керування в різних режимах роботи;
- характеристики перехідних процесів.

Стійкість керування – полягає в тому, що невелика зміна керуючої чи збурюючої дії призводить до невеликої зміни вихідної величини, після зміни цих величин система повертається в попередній або близький до нього стан. Стійкість – це характеристика працездатності системи керування. Якщо в техніці ми користуємось терміном працездатна систем чи ні, то в теорії керування – стійка система керування чи нестійка. Нестійка система керування не може забезпечити керування, отже є непрацездатною.

Точність керування – визначає, в якій мірі система задовольняє вимогам керування. Точність керування оцінюють за відхиленням вихідної величини від вхідної (за різницею значень цих величин, різницею швидкості їх зміни чи різницею їх прискорення).

Характеристики перехідних процесів відіграють важливу роль тому, що системи керування працюють у перехідних режимах протягом значного періоду часу. Ця особливість САК зумовлює методи дослідження і математичний апарат, який використовується під час вивчення теорії їх роботи, тобто математичним апаратом ТАК є апарат диференціальних рівнянь.

Основою вивчення роботи САК є розгляд рівнянь динаміки системи керування. Рівняння динаміки системи – це рівняння, яке описує роботу систем і дозволяє обрахувати значення вихідної величини в будь-який момент часу при будь-якій зміні вхідної чи збурюючої величин, при будь-якій зміні параметрів системи.

Рівняння динаміки одержують шляхом аналізу фізичних процесів роботи системи. Для електричних систем це рівняння електротехніки, механічних систем – рівняння механіки, гідравлічних – рівняння гідравліки тощо. Наприклад, наукова дисципліна «Теорія електричного приводу» вивчає, як одержати рівняння динаміки будь-якої електромеханічної системи.

Розглянемо приклад знаходження рівняння динаміки електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням як одного з елементів САК. Рівняння електричного кола живлення двигуна має вигляд

$$U = E + i_{\text{я}} R_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} . \quad (1)$$

Тут U – напруга живлення; $i_{\text{я}}$ – струм якоря; $R_{\text{я}}, L_{\text{я}}$ – опір та індуктивність якоря; E – електрорушійна сила, що наводиться магнітним полем в обмотці якоря $E = c_e \omega$; c_e – постійна двигуна, ω – швидкість обертання якоря.

Рівняння, яке описує механічні процеси в двигуні, таке:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_d + M_f . \quad (2)$$

Тут J – момент інерції якоря, M_d – рушійний момент двигуна $M_d = c_m i_{\text{я}}$, M_f – момент опору (зовнішнього навантаження). У режимі холостого ходу момент опору рівний нулю, отже

$$J \frac{d\omega}{dt} = c_m i_{\text{я}} . \quad (3)$$

Рівняння (1) і (2) складають систему рівнянь динаміки двигуна. Визначивши з (2) струм якоря $i_{\text{я}}$ і підставивши в (1), матимемо рівняння динаміки, яке встановлює зв'язок між вхідною величиною – напругою живлення U і вихідною – кутовою швидкістю обертання ротора двигуна ω .

У САК входить ряд елементів і для одержання рівняння динаміки описують процеси в кожному з них аналогічно наведеному прикладу. Враховуючи спосіб з'єднання елементів, одержують рівняння динаміки.

Залежно від типу одержаних рівнянь системи поділяють на лінійні й нелінійні. Динаміка лінійної системи описується лінійним диференціальним рівнянням

$$\begin{aligned}
 a_0 \frac{dy^n(t)}{dt^n} + a_1 \frac{dy^{n-1}(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = \\
 = b_0 \frac{dx^m(t)}{dt^m} + b_1 \frac{dx^{m-1}(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_{m-1} x(t) + b_m.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Це загальний вигляд звичайного лінійного диференційного рівняння з постійними коефіцієнтами. В його ліву частину входить вихідний сигнал системи $y(t)$ та його похідні, в праву – вхідний сигнал $x(t)$ та його похідні. Порядок n найвищої похідної визначає порядок рівняння. Він залежить від складності системи. Розв’язок такого рівняння, як відомо з курсу математики, дорівнює сумі загального розв’язку однорідного рівняння у часткового розв’язку неоднорідного рівняння. Однорідним називають рівняння, в якого права частина рівна нулю. У випадку САК однорідне рівняння описує динаміку системи, коли відсутня зовнішня дія на неї, тобто власні коливання системи. Розв’язок такого рівняння відшукують за допомогою підстановки Ейлера:

$$y(t) = \exp(pt). \tag{5}$$

Ця підстановка приводить до алгебраїчного рівняння

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + 1 = 0. \tag{6}$$

Дане рівняння відоме з математики як характеристичне. У ТАК характеристичне рівняння відіграє важливу роль, оскільки за його допомогою визначають ряд характеристик САК. Характеристичне рівняння формально можна отримати, якщо в однорідному рівнянні динаміки системи замінити похідні змінною p в степені, рівній порядку похідної.

Умова стійкості САК така. Необхідною і достатньою умовою стійкості САК є розміщення коренів характеристичного рівняння в лівій частині комплексної площини. Ця умова безпосередньо впливає з формули підстановки (5), оскільки при додатній дійсній частині p значення вихідного сигналу $y(t)$ з ходом часу t зростає до безконечності, а при від’ємній – прямує до постійного значення. Від’ємному значенню p відповідає ліва частина комплексної площини.

У теорії автоматичного керування для вирішення багатьох завдань замість диференціальних рівнянь використовують передаточну функцію. Її одержують під час розв’язання неоднорідного рівняння методом операційного числення. При цьому вхідний $x(t)$ і вихідний $y(t)$ сигнали замінюються зображеннями $x(p)$, $y(p)$.

Передаточна функція – відношення зображення вихідного сигналу до зображення вхідного сигналу при нульових початкових умовах.

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)}. \tag{7}$$

Для рівняння (4) вона, наприклад, дорівнює:

$$W(p) = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + a_m p}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + 1}. \quad (8)$$

Передаточна функція дозволяє значно полегшити побудову рівнянь складних систем і відшукування їх розв'язку. Формально передаточну функцію можна отримати з диференційного рівняння, замінивши оператор похідної оператором p в степені, рівній порядку похідної, а сигнали їх зображеннями:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} &\longrightarrow p, \\ x(t) &\longrightarrow x(p), \\ y(t) &\longrightarrow y(p). \end{aligned} \quad (9)$$

Під час вивчення складних САК їх зображають у вигляді структурної схеми. Структурна схема – це схема, в якій складові частини САК зображені у вигляді з'єднаних між собою динамічних ланок. Структурна схема призначена для математичного опису роботи САК.

Таблиця 1 – Рівняння і передаточні функції динамічних ланок

Назва ланки	Рівняння динаміки	Передаточна функція
Підсилююча	$y(t) = Kx(t)$	$W(p) = K$
Інтегруюча	$\frac{dy(t)}{dt} = Kx(t)$	$W(p) = \frac{K}{p}$
Диференційна	$y(t) = K \frac{dx(t)}{dt}$	$W(p) = Kp$
Аперіодична (інерційна)	$T \frac{dy(t)}{dt} + 1 = Kx(t)$	$W(p) = \frac{K}{Tp + 1}$
Реальна диференційна	$T \frac{dy(t)}{dt} + 1 = K \frac{dx(t)}{dt}$	$W(p) = \frac{Kp}{Tp + 1}$
Коливальна	$T^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2TD \frac{dy(t)}{dt} + 1 = \hat{E}x(t)$	$W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2TDp + 1}$

Динамічна ланка – це умовно виділена частина САК, в якій відбуваються елементарні перетворення сигналу. В САК використовують динамічні ланки направленої дії. Це певна абстракція, яка полягає в тому, що сигнал передається тільки з виходу ланки на її вхід і відсутній вплив інших ланок. Залежно від характеру перетворення сигналу розрізняють: підсилюючу, диференційну, інтегруючу, аперіодичну, коливальну та інші динамічні ланки. Перераховані ланки на відміну від інших, складніших ланок інколи називають елементарними ланками, розуміючи, що вони здійснюють найбільш прості перетворення сигналу. Передаточні функції та рівняння динаміки вказаних ланок подані в табл. 1.

У структурній схемі динамічні ланки зображають прямокутником, в якому записана передаточна функція ланки. Приклад структурної схеми показаний на рис. 4.

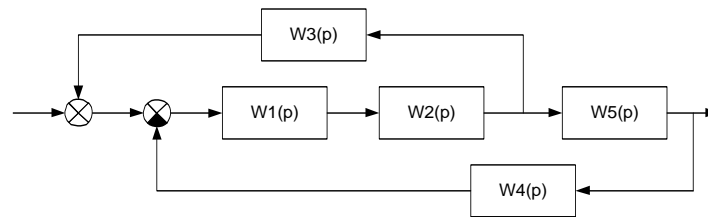


Рис. 4 – Приклад структурної схеми САК

Всі сигнали на структурній схемі зображають стрілками., направленими в сторону проходження сигналу. Розгалуження сигналу зображають точкою. Сигнали після розгалуження тотожні сигналу до розгалуження. Злиття сигналів зображають кружком розділеним на сектори – суматором. Сигнал після суматора дорівнює сумі сигналів, причому білому сектору суматора відповідає знак «+», а чорному – «-».

За структурною схемою можна отримати передаточну функцію і диференціальне рівняння всієї системи. При цьому потрібно виконати певні перетворення.

Паралельно з'єднані ланки можуть бути замінені однією ланкою, передаточна функція якої дорівнює сумі передаточних функцій ланок:

$$W(p) = \sum_{i=1}^k W_i(p). \quad (10)$$

Тут k – кількість паралельно з'єднаних ланок.

Послідовно з'єднані ланки можна замінити ланкою, передаточна функція якої дорівнює добутку передаточних функцій:

$$W(p) = \prod_{i=1}^k W_i(p). \quad (11)$$

Ланки, з'єднані зі зворотнім зв'язком, замінюють ланкою з передаточною функцією, обчисленою за формулою

$$W(p) = \frac{W_{xy}(p)}{1 + W_{pc}(p)}. \quad (12)$$

Тут $W_{xy}(p)$ – передаточна функція ланок, що знаходяться між входом і виходом на прямому зв'язку; $W_{pc}(p)$ – передаточна функція розімкнутої системи. Під розімкнутою системою розуміють весь послідовний ланцюг зворотного зв'язку, умовно розірваний в точці замикання.

Під час одержання загальної передаточної функції складної системи зустрічаються з'єднання, які не можна замінити вказаними вище трьома типами з'єднань. У таких випадках вдаються до еквівалентного перетворення структурної схеми. Під час такого перетворення переміщують розгалуження чи суматори відносно окремих ланок з їх входу на вихід чи, навпаки, з виходу на вхід, вводячи «фіктивні» ланки, тобто ланки, що не існують в початковій схемі. При цьому повинна витримуватись умова, щоб сигнали біля фактичних, не фіктивних ланок, залишалися незмінними. Фіктивні ланки можуть бути

ланками прямої чи зворотної дії. Ланка зворотної дії виконує обернене перетворення сигналу, її передаточна функція позначається рискою зверху:

$$\overline{W}_i(p) = \frac{1}{W_i(p)}. \quad (13)$$

Виконавши перетворення, одержують загальну передаточну функцію системи. Передаточна функція однозначно описує динаміку САК. У разі потреби мати диференціальне рівняння системи в передаточній функції замінюють оператор p на похідну, а зображення функцій на їх оригінали, тобто виконують зворотне зображення за формулою (9).

У ТАК, як і в інших технічних дисциплінах (електротехніці, радіотехніці, інформатиці та ін.), існує два підходи до вивчення систем, а саме: часовий і частотний. Часовий підхід характеризується тим, що вивчають зміну процесів протягом певного проміжку часу, а саме зміну вихідних величин системи за умови певної дії на систему. Цю зміну подають як функцію часу, вважають характеристикою системи і називають часовою характеристикою. Частотний підхід визначається тим, як система реагує на сигнали різної частоти. Найбільш повну й зручну для практичного використання інформацію можна отримати використовуючи обидва ці підходи.

Часові характеристики окремих динамічних ланок та систем в цілому експериментально вивчають, подаючи на систему такі сигнали: ступінчастий та імпульсний. Ступінчастий сигнал – це сигнал, зображений на рис. 5,а. Він дорівнює нулю до певного моменту часу t_0 , різко наростає і залишається постійним після цього моменту часу. Математично він описується таким чином:

$$x(t) = A\Theta(t), \quad \Theta(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_0 \\ 1 & \text{при } t \geq t_0 \end{cases} \quad (14)$$

Тут $\Theta(t)$ – узагальнена тета-функція; A – амплітуда сигналу. У випадку, коли $t_0=0$ і амплітуда сигналу рівна 1, його називають одиничним сигналом і позначають $1(t)$. Ступінчастий сигнал створює, наприклад, звичайний вимикач.

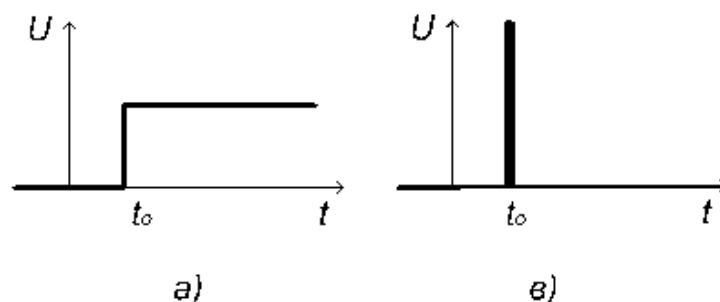
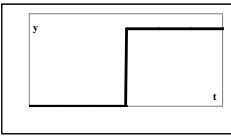
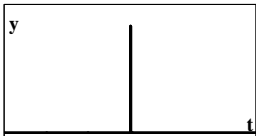
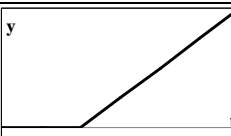
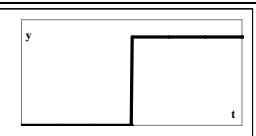
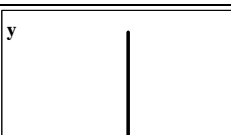
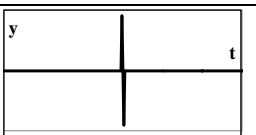
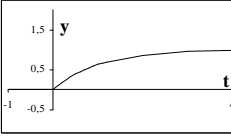
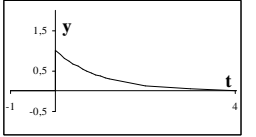
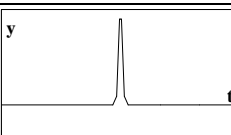
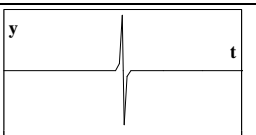
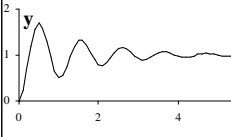
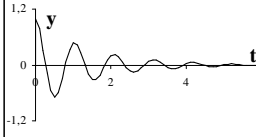


Рис. 5 – Типові сигнали випробування САК:
а – ступінчастий сигнал, б – імпульсний сигнал.

Після подачі ступінчастого сигналу на вхід у системі відбуваються перехідні процеси, вона переходить з одного стану, який був при нульовому значенні

сигналу, до іншого, який встановлюється при відмінному від нуля значенні. Графік вихідного сигналу описує властивості системи і називається перехідною характеристикою. Слід зауважити, що терміном «характеристика» в ТАК прийнято називати графік залежності. Отже перехідна характеристика системи (чи динамічної ланки) – це графік зміни в часі вихідного сигналу при ступінчастому сигналі на вході. Перехідною функцією називають математичний вираз зміни вихідного сигналу при подачі на вхід ступінчастого сигналу, позначають її $h(t)$. Відшуковують перехідну функцію шляхом інтегрування рівняння динаміки системи, коли вхідний сигнал ступінчастий, має вигляд (14).

Таблиця 2 – Часові характеристики елементарних динамічних ланок

Назва ланки	Перехідна характеристика $h(t)$	Імпульсна перехідна характеристика $\omega(t)$
Підсилююча		
Інтегруюча		
Диференціальна		
Аперіодична (інерційна)		
Реальна диференціальна		
Коливальна		

Імпульсний сигнал – це сигнал, значення якого дорівнює безконечності в певний момент часу t_0 і нулю у всі інші моменти. Такий сигнал зображений на рис. 5, б. Його математичний запис:

$$x(t) = A\delta(t), \quad \delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_0, t > t_0 \\ \infty & \text{при } t = t_0 \end{cases} \quad (15)$$

Тут $\delta(t)$ – узагальнена дельта-функція, причому:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \quad (16)$$

Відповідну цьому сигналу характеристику системи називають імпульсною перехідною (або ваговою) характеристикою, а функцію – імпульсною перехідною (або ваговою) функцією, позначають її $\omega(t)$. Між ваговою і перехідною функціями існує залежність

$$\omega(t) = \frac{d}{dt} h(t). \quad (17)$$

Розглянуті часові характеристики динамічних ланок подані в табл. 2.

Частотні характеристики одержують за допомогою гармонічного сигналу. Якщо на систему подати гармонічний сигнал вигляду:

$$x(t) = A \cos(\omega t), \quad (18)$$

то вихідний сигнал матиме іншу амплітуду і частоту. Графік частотної залежності відношення амплітуд вихідного і вхідного сигналу називають амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ), а залежність зсуву фаз від частоти – фазово-частотною характеристикою (ФЧХ). Вигляд цих характеристик показано на рис. 6.

Амплітудно-частотна характеристика, показана на рис. 6, має певну резонансну частоту і спадає при збільшенні частоти. Діапазон частот, в якому величина вихідного сигналу перевищує певну малу величину, прийняту умовно, наприклад 0,05, називають діапазоном пропускання, а частоту, на якій закінчується діапазон пропускання, граничною частотою. Фазово-частотна характеристика (рис. 6) показує, що зі збільшенням частоти зсув фази зростає і досягає певного максимального значення. Це значення кратне 90° . Якщо об'єднати АЧХ та ФЧХ й побудувати характеристику в полярних координатах, то одержимо амплітудно-фазову частотну характеристику (АФЧХ). Приклад АФЧХ показано на рис. 7.

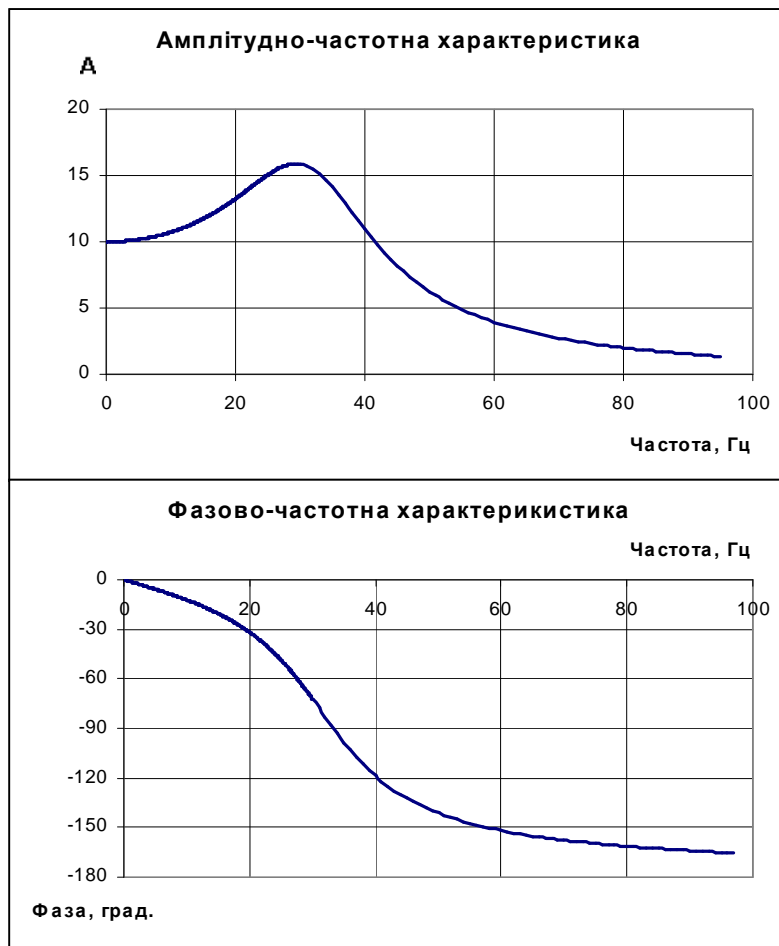


Рис. 6 – Приклад амплітудно-частотної і фазово-частотної характеристик



Рис. 7 – Приклад амплітудно-фазової частотної характеристики системи другого порядку

Частотні характеристики будують, як правило, в логарифмічному масштабі й називають логарифмічними, а саме: логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (ЛАЧХ) й логарифмічна фазово-частотна характеристика (ЛФЧХ). Побудова логарифмічних характеристик простіша, оскільки вони мають прямолінійні асимптоти і для складних систем будуються простим сумуванням частотних характеристик ланок. Приклад ЛАЧХ показано на рис.8.

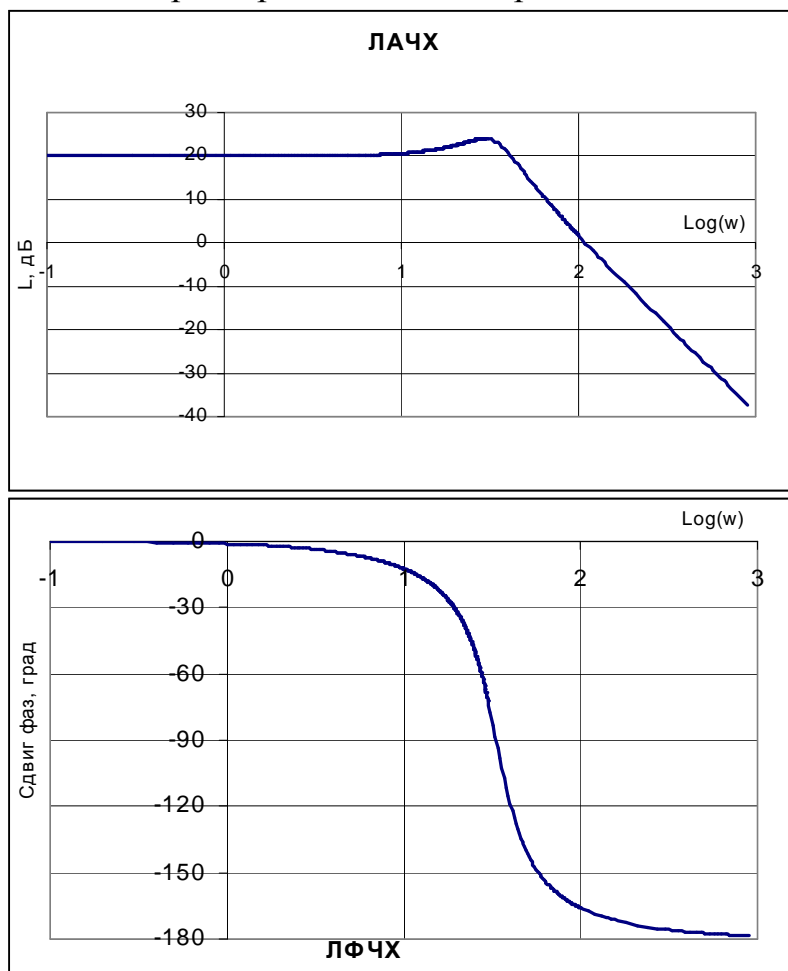


Рис. 8 – Приклад логарифмічних амплітудно-частотної і фазово-частотної характеристик

Відношення синусоїдального вихідного сигналу системи до синусоїдального вхідного сигналу називають комплексною передаточною функцією. Математично вона визначається як відношення перетворення Фур'є вихідного сигналу до такого ж перетворення вхідного сигналу і позначається $W(i\omega)$. Комплексна передаточна функція (КПФ) – це частковий випадок передаточної функції, коли оператор p є чисто уявною величиною. КПФ формально можна отримати з передаточної функції, замінивши оператор p на уявну величину $i\omega$, ($p \rightarrow i\omega$), наприклад, для аперіодичної ланки:

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1} \longrightarrow W(i\omega) = \frac{K}{1 + Ti\omega}. \quad (19)$$

Годограф КПФ у комплексній площині (крива, яку описує кінець радіуса-вектора) співпадає з АФЧХ системи. Модуль КПФ є амплітудно-частотною, а аргумент – фазово-частотною функціями. Цим зумовлене широке використання КПФ.

Знаючи КПФ, можна побудувати ЛАЧХ і ЛФЧХ систем, їх окремих динамічних ланок. Порядок побудови такий:

- записують комплексну передаточну функцію;
- виділяють дійсну $P(\omega)$ і уявну $Q(\omega)$ частини КПФ:

$$W(p) = P(\omega) + iQ(\omega); \quad (20)$$

Для цього числівник і знаменник КПФ помножують на комплексно спряжену величину знаменника і виконують алгебраїчні перетворення.

- знаходять модуль КПФ (амплітудно-частотну функцію) за формулою

$$A(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)}; \quad (21)$$

- знаходять аргументу КПФ (фазово-частотну функцію) за формулою

$$\phi(\omega) = \arctg\left(\frac{Q(\omega)}{P(\omega)}\right); \quad (22)$$

- складають таблиці побудови графіків, в яких розраховують значення потрібної величини при зміні частоти ω , і на основі розрахованих величин;
- будують графік відкладаючи для кожної частоти кут, рівний аргументу КПЧ і довжину радіуса вектора, рівну модулю КПЧ.

Частотні характеристики САК дозволяють визначити стійкість системи, оцінити величину запасу стійкості. Умова стійкості, розглянута раніше, є достатньою для визначення стійкості системи. Але перевірити умову стійкості не завжди просто. Загальних правил розв'язання рівнянь 4-го і більш високого ступеня не існує. Знайти корені характеристичного рівняння 4-го і більш високого порядку важко. Тому замість перевірки умови стійкості часто використовують критерії, які не потребують знаходження коренів характеристичного рівняння. Відомо декілька таких критеріїв. Найбільш вживаними є: алгебраїчний критерій Гурвіца, критерій Михайлова і частотний критерій Найквіста.

Відповідно до алгебраїчного критерію стійкості Гурвіца стійкість системи розраховують за значеннями, які одержуються з матриці Гурвіца. Матриця Гурвіца будується за певними правилами з коефіцієнтів характеристичного рівняння [1]. Алгебраїчний критерій зручний для дослідження систем до 4 – 5 порядку. Для більш складних систем він громіздкий і потребує значного числа обчислень.

Критерій Михайлова визначає стійкість системи за виглядом годографа Михайлова. Годограф Михайлова – це лінія, яку описує радіус вектор поліному Михайлова. Поліном Михайлова – це характеристичний поліном диференційного рівняння системи. Система є стійкою якщо, годограф Михайлова має правильну форму, тобто коли він послідовно обходить n квадрантів комплексної площини, де n – порядок характеристичного рівняння.

Частотний критерій стійкості Найквіста полягає в тому, що стійкою є система, АФЧХ якої не охоплює точку – 1 на дійсній осі комплексної площини. Його інше формулювання таке: система є стійкою, якщо на частоті зрізу зсув фази менше 180^0 . Частота зрізу – це частота, на якій ЛФЧХ перетинає вісь частоти.

Частотний критерій зручний тим, що він може бути розрахований теоретично, а також його можна знайти експериментально.

Запас стійкості системи визначається тим, наскільки далеко від межі стійкості знаходиться система. Запас стійкості характеризують за різними показниками: модулем, фазою, коефіцієнтом підсилення, параметрами динамічних ланок і т.п. Запас стійкості має практичне значення для САК, оскільки він визначає допустимі межі зміни параметрів системи без втрати її стійкості. Межі, в яких параметри системи забезпечують її стійкість, називають зонами стійкості.

Один з найважливіших показників САК (звичайно, якщо вона є стійкою) – точність регулювання. Система керування з недостатньою точністю не може задовольнити потреб практики. Точність визначається похибкою системи. Залежно від режиму роботи розрізняють два основні види похибок – статичні й динамічні. Статична похибка – це відхилення усталеного значення регульованої величини в статичному режимі роботи, тобто після завершення перехідних процесів при незмінному характері дії на систему. Її величина визначається коефіцієнтом статичної похибки. Цей коефіцієнт часто називають статизмом системи, він розраховується за формулою

$$C = \frac{1}{1 + K}. \quad (23)$$

Системи, які в статичному режимі роботи мають вказану відмінну від нуля похибку, називають статичними, а системи, в яких статична похибка дорівнює нулю, – астатичними.

Шляхів збільшення точності керування САК є декілька. Один з них впливає з формули (22), а саме підвищення коефіцієнта підсилення K . Але збільшення коефіцієнта підсилення приводить до зменшення запасу стійкості систем й навіть до її повної втрати. Тому для збільшення точності регулювання перетворюють статичну систему в астатичну. Астатичні системи отримують, якщо в певне місце кола зворотного зв'язку ввести інтегруючу ланку. Залежно від кількості інтегруючих ланок в регуляторі розрізняють астатичні системи 1-го, 2-го і більш високих порядків. Астатичні системи 1-го порядку мають рівну нулю похибку за керуючою величиною, але відмінну від нуля похибку в динамічному режимі за швидкістю зміни вхідної величини; системи 2-го порядку астатизму мають нульову похибку за швидкістю зміни вхідної величини, а системи 3-го порядку – нульову похибку за прискоренням.

Залежно від типу зворотного зв'язку визначають систему регулятора. Відомі такі системи регуляторів: пропорційні (П), пропорційно-інтегруючі (ПІ) пропорційно-диференціальна (ПД) й пропорційно інтегро-диференціальна (ПІД). Ці регулятори мають в колі зворотного зв'язку інтегруючі й диференціальні ланки.

Найбільш якісними є ПДД регулятори, що об'єднують в собі закони регулювання пропорційних, диференційних та інтегруючих регуляторів.

Важливою групою показників САК є показники якості перехідного процесу. Перехідний режим роботи – це режиму, при якому система переходить від одного стану в інший. Він настає після всякої зміни дії на систему. В електроустановках перехідні процеси, відіграючи надзвичайно важливу роль, продовжуються тільки незначні проміжки часу. Керування передбачає зміну величин, тому САК практично постійно працюють в перехідних режимах. Це, як було сказано, зумовлює методи вивчення САК і визначає їх характеристики.

Перехідні процеси в САК поділяють на три типи: монотонний, аперіодичний і коливальний. Вони показані на рис. 9.

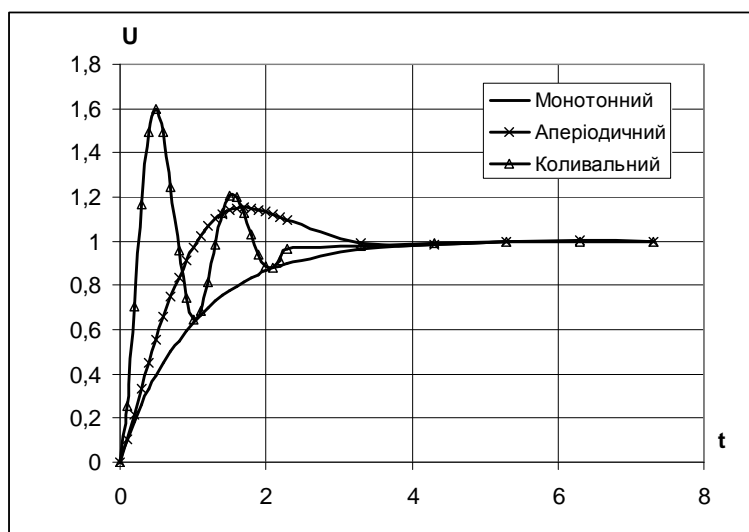


Рис. 9 – Головні типи перехідних процесів САК

Характеристиками перехідного процесу залежно від його типу є: тривалість перехідного процесу, величина перерегулювання, коливальність, ступінь загасання коливаль, декремент загасання, період коливаль та ін. Розрізняють також інтегральні характеристики перехідного процесу, що характеризують весь процес в цілому і визначаються як сумарне значення всіх відхилень реального перехідного процесу від ідеального, що відповідає зміні вхідної величини.

Залежно від типу рівнянь динаміки розрізняють лінійні й нелінійні системи. У принципі всі системи керування є нелінійними, лінеаризація рівнянь є певним спрощенням, яке приводить до значного полегшення аналізу систем. Лінійними можна вважати переважну більшість систем, коли розглядати їх роботу в невеликих інтервалах зміни зовнішніх величин. Проте є системи, які вважаються суттєво нелінійними і які неможливо описати лінійними рівняннями. До складу таких систем входять такі елементи, як, наприклад, реле та релейні елементи, випрямляючі елементи, логічні пристрої тощо. Ці системи вивчаються аналогічно лінійним системам, але в їх структурні схеми вводять один чи декілька суттєво нелінійних елементів, що мають зони нечутливості, насичення тощо.

Ще одну значну групу САК складають дискретні системи керування. Ці системи мають у своєму складі елементи дискретної дії. До таких систем відносяться імпульсні системи: амплітудно-імпульсної, широтно-імпульсної, частотно-імпульсної дії. Релейні системи керування також є різновидом дискретних систем. Найбільш поширеними дискретними системами керування, які знаходять все більше використання, є числові системи керування. Застосування обчислювальної техніки в системах керування є головним напрямком розвитку САК в наш час.

3. Завдання до курсової роботи

Варіант завдання до курсової роботи визначається за журналом академічної групи і відповідає номеру студента в журналі. До курсової роботи входять два теоретичних запитання і чотири практичних завдання.

Завдання 3.1. Дати письмову відповідь на запитання:

1. Визначення САК, завдання, які вирішує ТАК.
2. Класифікація САК.
3. Принципи автоматичного керування.
4. Керування за збуренням. Розімкнуті системи.
5. Керування за відхиленням. Його переваги.
6. Системи стабілізації, програмного керування, слідкуючі.
7. Рівняння динаміки двигуна.
8. Диференційні рівняння. Їх значення для аналізу САК.
9. Однорідне й неоднорідне диференційні рівняння.
10. Характеристичне рівняння САК.
11. Комплексне число. Форми представлення.
12. Корені характеристичного рівняння САК. Умови стійкості САК.
13. Розв'язання неоднорідних рівнянь методом Лапласа. Передаточна функція.
14. Динамічні ланки САК. Ланки направленої дії.
15. Аперіодична ланка. Диференційне рівняння і передаточна функція. Її фізичні аналоги.
16. Підсилююча ланка. Рівняння і передаточна функція. Фізичні аналоги.
17. Інтегруюча ланка. Диференційне рівняння і часові характеристики. Її фізичні аналоги.
18. Диференційна ланка. Диференційне рівняння і часові характеристики. Її фізичні аналоги.
19. Коливальна ланка. Диференційне рівняння і часові характеристики. Її фізичні аналоги..
20. Структурна схема САК.
21. Часові характеристики САК та динамічних ланок.
22. Типові сигнали випробування САК.
23. Частотні характеристики САК. Їх експериментальне визначення.

24. Амплітудно-частотна характеристика. Смуга пропускання, резонансна частота, частота зрізу САК
25. Фазова частотна характеристика.
26. Амплітудно-фазова частотна характеристика.
27. Комплексна передаточна функція.
28. Зв'язок між диференціальним рівнянням, передаточною та комплексною передаточною функціями.
29. Форми представлення КПФ.
30. КПФ й частотні функції САК.

Завдання 3.2. Дати письмову відповідь на запитання:

1. Визначення логарифмічних частотних характеристики САК.
2. Логарифмічні частотні характеристики аперіодичної ланки.
3. Логарифмічні частотні характеристики коливальної ланки.
4. Порядок побудови ЛАЧХ складної системи.
5. Структурна схема САК. Правила її побудови.
6. Правила перетворення структурних схем.
7. Визначення передаточної функції САК за структурною схемою.
8. Передаточна функція послідовно з'єднаних ланок.
9. Передаточна функція паралельно з'єднаних ланок.
10. Передаточна функція ланок зі зворотним зв'язком.
11. Зворотний зв'язок. Види зворотного зв'язку.
12. Передаточні функції відносно збурючої дії.
13. Правила переносу суматорів у структурних схемах.
14. Комплексна передаточна функція.
15. Показники якості САК.
16. Стійкість САК. Критерії стійкості.
17. Умови стійкості САК.
18. Критерії стійкості САК.
19. Алгебраїчний критерій стійкості Гурвіца.
20. Визначник Гурвіца, правила його побудови.
21. Критерій стійкості Михайлова.
22. Критерії стійкості Найквіста.
23. Логарифмічний критерій стійкості.
24. Запас стійкості. Показники запасу стійкості.
25. Стійкість системи, зони стійкості.
26. Похибка регулювання САК. Статизм системи.
27. Похибка системи в статичному режимі. Шляхи зменшення статичних похибок.
28. Астатична система. Похибки в динамічному режимі.
29. Перехідні процеси в САК. Типи перехідних процесів.
30. Типи регуляторів. П, ПД, ПІ та ПІД регулятори.

Завдання 3.3. Вивести диференційне рівняння і знайти передаточну функцію для двигуна постійного струму незалежного збудження при його регулюванні за допомогою підведеної напруги. Побудувати логарифмічні амплітудну та фазово-частотні характеристики (ЛАЧХ, ЛФЧХ), використовуючи дані табл. 3.

Таблиця 3 – Варіанти до завдання 3.3

№ варіанта	$L_{\text{я}}$ Гн	$R_{\text{я}}$ Ом	J Кгм ²	C_e	№ варіанта	$L_{\text{я}}$ Гн	$R_{\text{я}}$ Ом	J Кгм ²	C_e
1	0,019	0,16	2,5	0,08	16	0,034	0,23	1,6	0,2
2	0,028	0,25	3,0	0,1	17	0,018	0,24	3,5	0,08
3	0,026	0,27	2,7	0,2	18	0,022	0,19	3,1	0,15
4	0,022	0,12	1,0	0,1	19	0,030	0,10	1,7	0,08
5	0,029	0,10	2,2	0,08	20	0,033	0,13	2,3	0,22
6	0,030	0,17	2,4	0,1	21	0,024	0,21	3,0	0,06
7	0,017	0,10	3,8	0,07	22	0,020	0,14	2,2	0,09
8	0,022	0,22	1,4	0,15	23	0,034	0,22	3,4	0,3
9	0,018	0,17	3,6	0,22	24	0,019	0,10	2,9	0,2
10	0,033	0,28	2,6	0,13	25	0,026	0,20	3,0	0,16
11	0,024	0,11	2,1	0,12	26	0,026	0,026	3,0	0,1
12	0,030	0,16	2,7	0,2	27	0,022	0,022	2,7	0,08
13	0,017	0,09	2,2	0,08	28	0,029	0,029	1,0	0,1
14	0,017	0,22	2,7	0,1	29	0,030	0,030	2,2	0,07
15	0,026	0,12	2,1	0,09	30	0,017	0,017	2,4	0,15

Таблиця 4 – Варіанти до завдання 3.4

№ варі- анта	№ формули	Значення коефіцієнтів			№ варі- анта	№ формули	Значення коефіцієнтів		
		К	Т	Д			К	Т	Д
1	4.1	2	2	-	16	4.6	4	0,1	-
2	4.2	1	0,3	-	17	4.1	3	8	-
3	4.3	5	0,2	-	18	4.3	8	0,3	-
4	4.4	3	0,1	0,3	19	4.5	2	0,1	0,2
5	4.5	5	0,1	0,2	20	4.7	2	0,2	0,2
6	4.6	8	0,3	-	21	4.4	4	0,1	0,9
7	4.2	3	0,1	-	22	4.7	5	0,2	0,5
8	4.5	3	0,4	0,1	23	4.6	10	0,4	-
9	4.4	1	0,5	0,1	24	4.4	8	0,6	0,3
10	4.6	5	0,2	-	25	4.1	4	5	-
11	4.2	4	0,4	-	26	4.7	6	0,1	0,4
12	4.5	1	0,3	0,7	27	4.5	8	0,6	0,5
13	4.4	6	0,2	0,2	28	4.2	4	0,5	-
14	4.7	3	0,5	0,4	29	4.5	10	0,5	0,3
15	4.2	2	0,1	-	30	4.2	6	0,2	-

Величина c_m у випадку, коли кутова швидкість ω подана в обертах за хвилину, дорівнює:

$$c_m = \frac{2\pi}{60} c_e.$$

Завдання 3.4 Побудувати амплітудно-фазові частотні характеристики за відомими передаточним функціями. Варіанти завдання наведені в табл. 4.

Формули передаточних функцій для варіантів завдань:

$$W(p) = \frac{K}{p(1+Tp)}; \quad (4.1)$$

$$W(p) = \frac{K(1-Tp)}{1+Tp}; \quad (4.2)$$

$$W(p) = \frac{K}{-1+Tp}; \quad (4.3)$$

$$W(p) = \frac{K(Tp+1)}{T^2 + 2TDp + 1}; \quad (4.4)$$

$$W(p) = \frac{K}{T^2 + 2TDp + 1}; \quad (4.5)$$

$$W(p) = \frac{K}{1+Tp}; \quad (4.6)$$

$$W(p) = \frac{K}{T^2 - 2TDp + 1}. \quad (4.7)$$

Завдання 3.5. Використовуючи критерій стійкості Михайлова, визначити стійкість системи, передаточна функція якої має вигляд

$$W(p) = \frac{1}{a_1 p^5 + a_2 p^4 + a_3 p^3 + a_4 p^2 + a_5 p}.$$

Побудувати годограф Михайлова і за його виглядом зробити висновок про стійкість системи.

Рекомендація: Під час побудови годографа діапазон частот вибирати в інтервалі від 0 до 5 з кроком 0,5.

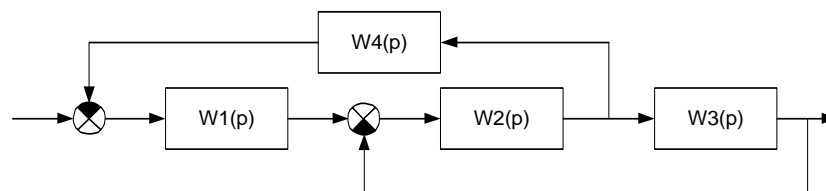
Варіанти завдань подані в табл. 5.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнтів передаточної функції відповідно до варіанта роботи

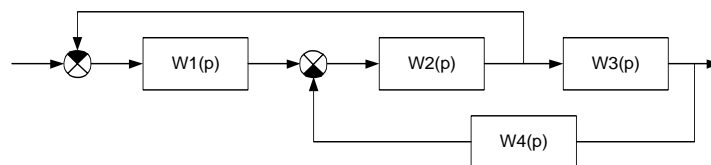
№ варіанта	Коефіцієнти					№ варіанта	Коефіцієнти				
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
1	0,3	0,2	0,8	2	2	17	0,03	0,2	0,9	4	5
2	0,09	0,4	2	6	40	18	0,035	0,2	1,2	3	9
3	0,09	0,4	2,8	6	20	19	0,3	0,2	2,5	5	2
4	0,04	0,1	1	1,5	5	20	0,07	0,3	2,1	6	22
5	0,09	0,35	2,8	5	20	21	0,08	0,5	1	4	25
6	0,07	0,3	1	4	16	22	0,045	0,15	1	4	4
7	0,09	0,4	2,5	5	18	23	0,045	0,2	3	0,5	8
8	0,09	0,4	2,8	5	18	24	0,09	0,2	2,8	4	15
9	0,05	0,1	1	1,5	9	25	0,05	0,2	0,8	2	2
10	0,045	0,15	1	2	4	26	0,6	0,2	10	3	11
11	0,09	0,2	2,8	5	20	27	0,2	0,25	6	4	40
12	0,03	0,2	0,9	2	6	28	0,07	0,2	2,5	4	20
13	0,09	0,2	2,8	3	20	29	0,09	0,2	2,8	15	20
14	0,05	0,1	1	1,5	3	30	0,07	0,3	2,1	6	12
15	0,04	0,2	0,9	2	3	31	0,035	0,2	0,8	3	6
16	0,08	0,4	3	4	25	32	0,09	0,2	2,8	5	20

Завдання 3.6 За структурною схемою САК знайти передаточну функцію системи. Варіанти завдань подані нижче.

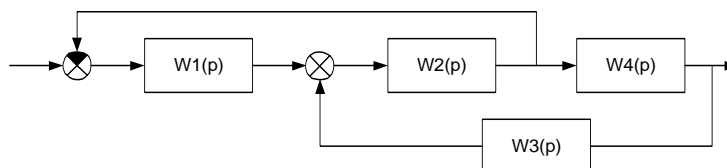
1.



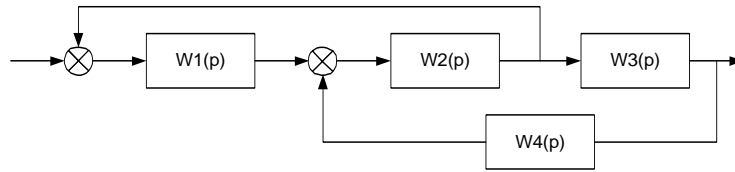
2.



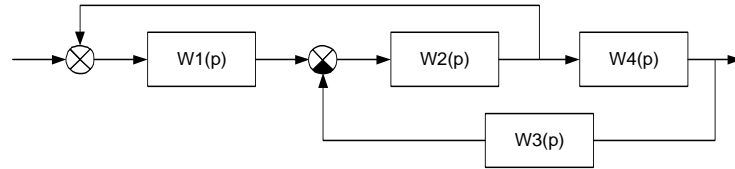
3.



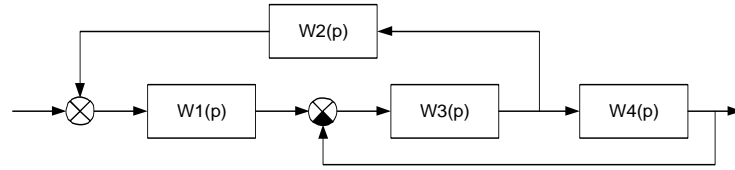
4.



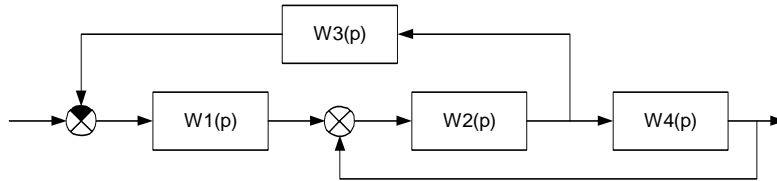
5.



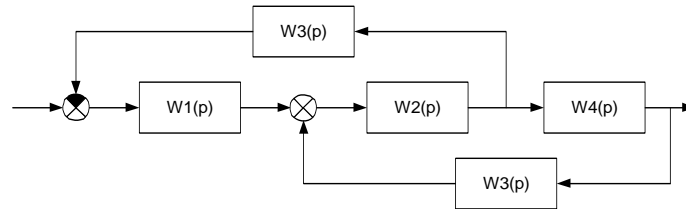
6.



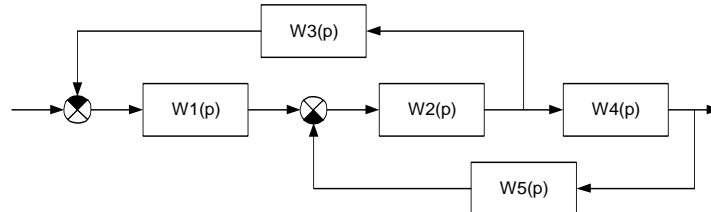
7.



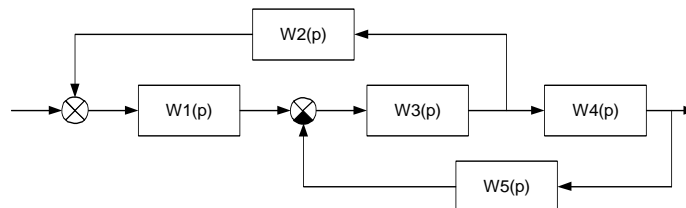
8.



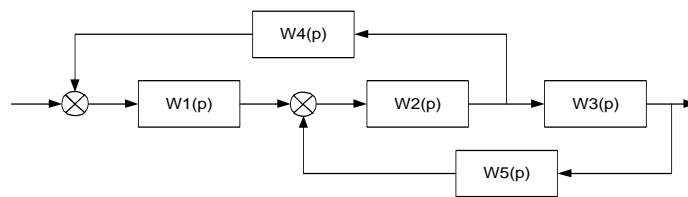
9.



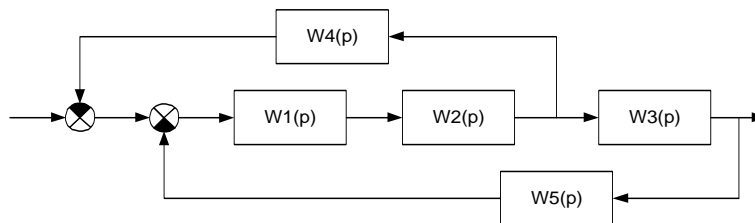
10.



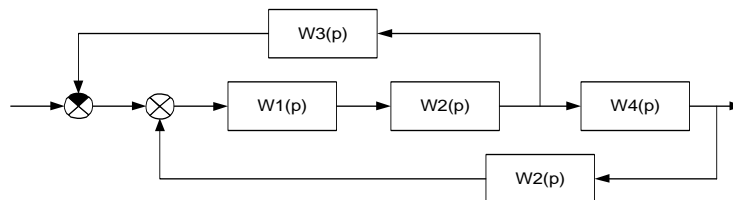
11.



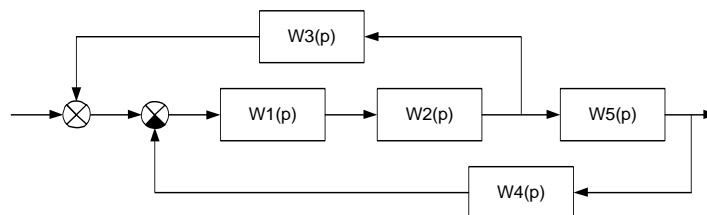
12.



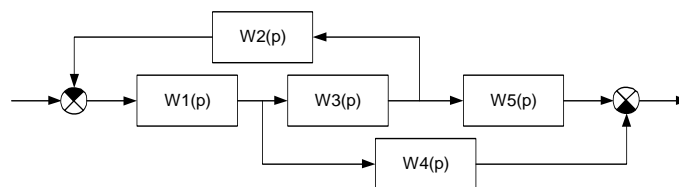
13.



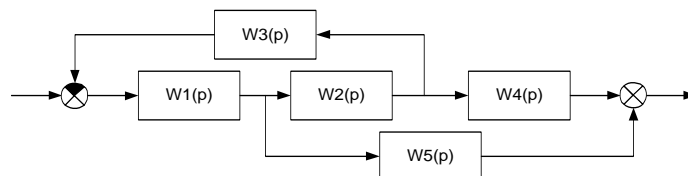
14.



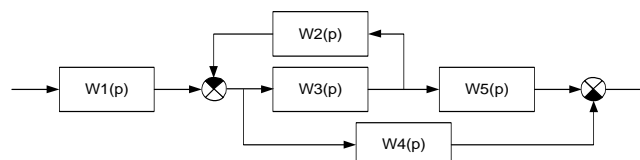
15.



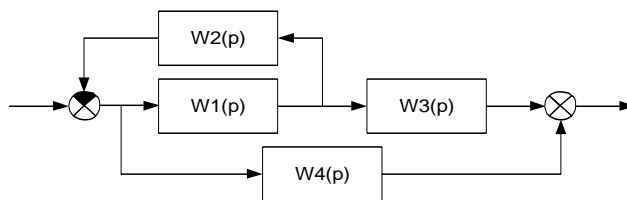
16.



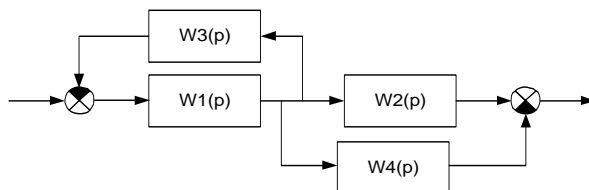
17.



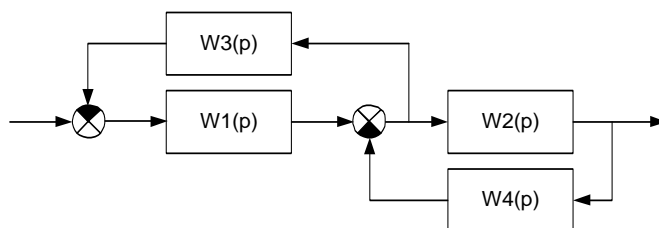
18.



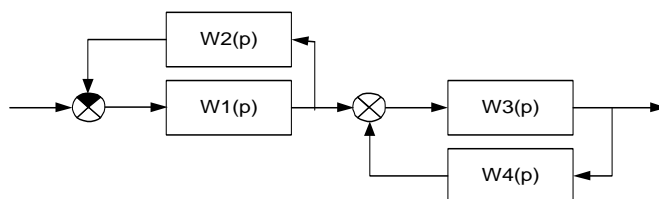
19.



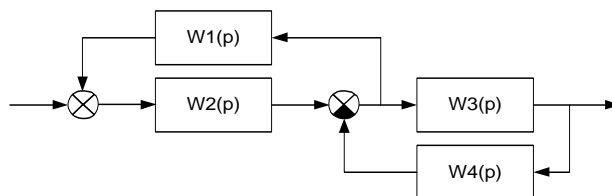
20.



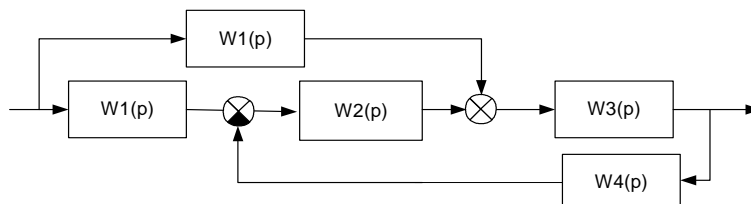
21.



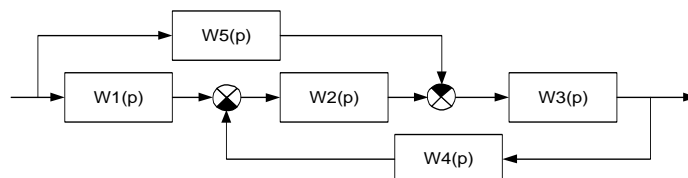
22.



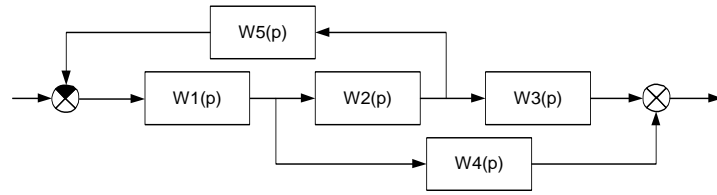
23.



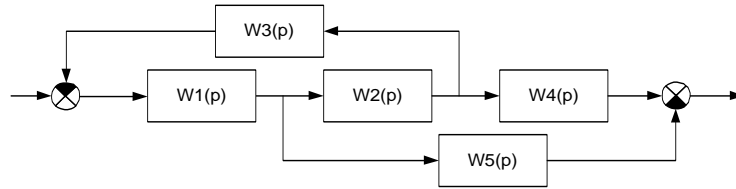
24.



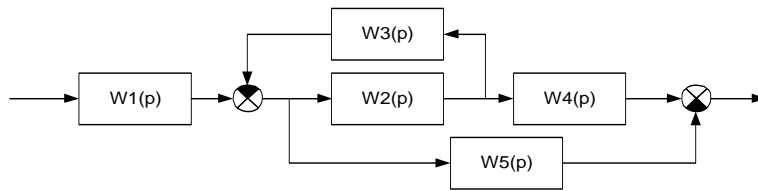
25.



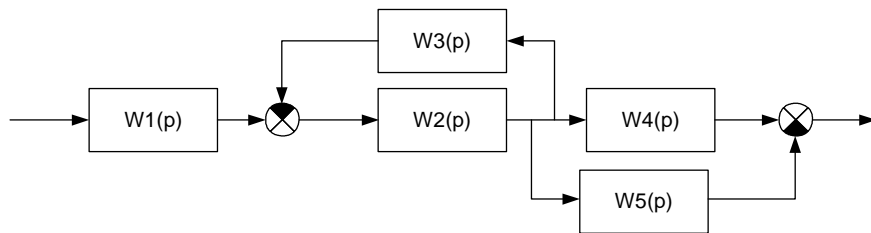
26.



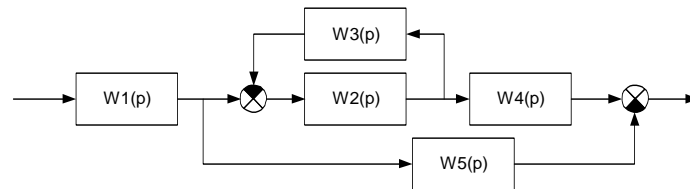
27.



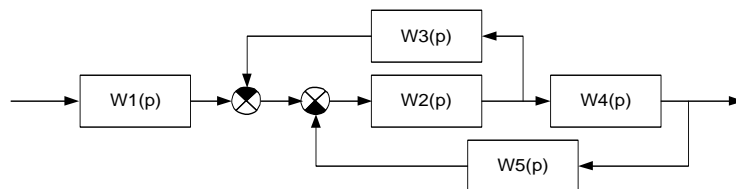
28.



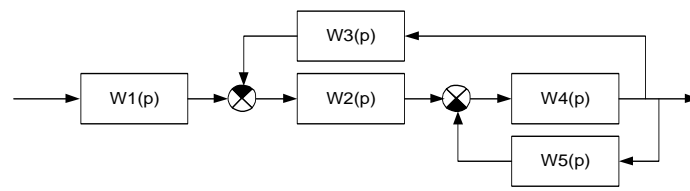
29.



30.



31.



4. Рекомендації щодо виконання курсової роботи

Завдання 3.1 і 3.2. Перед виконанням завдання слід добре вивчити навчальний матеріал за підручником і самостійно відповісти на поставлене запитання. Для ілюстрації відповіді потрібно навести графіки, діаграми, формули.

Завдання 3.3. Електричний двигун – один з найбільш поширених об'єктів регулювання. Залежно від типу двигуна та характеристик навантаження двигун може працювати стійко або нестійко. При нестійкій роботі для ввімкнення двигуна потрібен регулятор. Визначити стійкість роботи й розрахувати параметри регулятора можна за допомогою рівнянь динаміки. Перед виконанням роботи слід ознайомитись з матеріалом підручника [1, 57-59].

Для виконання завдання слід використати формули (1) і (3) цих методичних вказівок. З формули (3) визначити струм якоря i_a і підставити в (1). Одержане рівняння записати в порядку зменшення похідної: спочатку член з другою похідною, потім з першою і за ним член, пропорційний частоті ω . Навести рівняння до стандартного вигляду, поділивши всі члени на коефіцієнт при ω

$$a_0 \frac{d^2 \omega(t)}{dt^2} + a_1 \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = Ku(t).$$

Коефіцієнти a_0 , a_1 і K виражають через параметри двигуна, подані в табл.4.2.

Для отримання передаточної функції виконати заміну відповідно до формули (8) і знайти значення передаточної функції як відношення

$$W(p) = \frac{\omega(p)}{u(p)}.$$

Навести передаточну функцію у типовому для коливальної ланки у вигляді, поданому в табл.1.

Розділити чисельник і знаменник на a_0 . Знайти корені знаменника p , p_2 і привести передаточну функцію до вигляду

$$W(p) = \frac{K_1}{(p - p_1)(p - p_2)}.$$

Поділивши знаменник і чисельник на добуток $p_1 p_2$, записати передаточну функцію у вигляді передаточної функції аперіодичної ланки другого порядку, а саме

$$W(p) = \frac{K_2}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}.$$

Розрахувати рівень горизонтальної асимптоти L , частоти спряження ω_1 та ω_2 та їх десяткові логарифми $\lg(\omega_{en})$ за формулами

$$\begin{aligned} L &= 20 \lg K_2, \\ \omega_1 &= \frac{1}{T_1}, & \lg(\omega_1) &= \lg\left(\frac{1}{T_1}\right), \\ \omega_2 &= \frac{1}{T_2}, & \lg(\omega_2) &= \lg\left(\frac{1}{T_2}\right). \end{aligned}$$

Провести осі й побудувати графік ЛАЧХ і ЛФЧХ. По осі ординат слід відкласти $\lg(\omega)$ в децибелах, а по осі абсцис – рівень ЛАЧХ в децибелах. Ціну поділки краще вибрати 10 дБ. Безпосередньо під осями для побудови ЛАЧХ розмістити осі побудови ЛФЧХ відклавши за віссю абсцис $\lg(\omega)$. Вісь зсуву фаз направити вниз, оскільки для ланки зсув фаз має від’ємне значення.

Побудувати графік ЛАЧХ, для цього провести горизонтальну асимптоту на рівні $L = 20 \lg K$. Відкласти меншу частоту спряження та відшукати відповідну точку на горизонтальній асимптоті. Через цю точку провести похилу асимптоту (для першої аперіодичної ланки нахил асимптоти 20дБ/дек). Відкласти другу частоту спряження і відшукати відповідну їй точку на щойно проведеній асимптоті. Через цю точку провести наступну асимптоту, нахил якої становитиме 40 дБ/дек (20дБ/дек+20дБ/дек).

Побудувати графік ЛФЧХ. Для даної ланки на частотах спряження (ω_1, ω_2) ЛФЧХ проходить через точки з координатами -45° , та -135° , при малих частотах асимптотична до осі ординат, а при зростанні частоти – до -180° .

Завдання 3.4. Для побудови ЛАФЧХ системи слід дотримуватися такого порядку.

Записати КПФ системи, для цього у формулі варіанта завдання змінити оператора p на величину $i\omega$ розкрити дужки і згрупувати дійсні і уявні частини.

Привести КПФ до алгебраїчного вигляду. Для цього чисельник і знаменник помножити на комплексно спряжену до знаменника величину. Виділити дійсну $P(\omega)$ й уявну $Q(\omega)$ частотні функції (див. (18) і (19)) і записати їх значення.

Розрахувати значення дійсної $P(\omega)$ і уявної $Q(\omega)$ частотних функцій та заповнити табличку для побудови графіка:

ω	0	0,01	0,05	10	100
$P(\omega)$						
$Q(\omega)$						

Побудувати осі комплексної площини і вибрати масштаб для побудови графіка АФЧХ. Для кожної частоти відкласти значення функцій $P(\omega)$ і $Q(\omega)$ відмітивши значення точкою. З’єднати отримані точки в порядку збільшення частоти. Одержана крива є потрібною АФЧХ.

Завдання 3.5. Завдання виконувати в такому порядку. Записати поліном Михайлова, в нашому випадку рівний знаменнику передаточної функції:

$$D(p) = a_1 p^5 + a_2 p^4 + a_3 p^3 + a_4 p^2 + a_5 p + 1.$$

Замінити оператор p на величину $i\omega$ у відповідній степені.

Згрупувати члени з парними й непарним степенями уявного числа $i = \sqrt{-1}$.
Знайти значення дійсної $A(\omega)$ і уявної $B(\omega)$ частин вектора Михайлова

$$D(p) = A(\omega) + iB(\omega) = (a_2\omega^4 - a_4\omega^2 + 1) + i(a_1\omega^5 - a_3\omega^3 + a_5p).$$

Заповнити таблицю побудови годографа, розрахувавши значення $A(\omega)$ та $B(\omega)$.

Для побудови годографа діапазон частот рекомендується вибирати від 0 до 5 з інтервалом 0,5

ω	0	0,5	1	4,5	5
$A(\omega)$						
$B(\omega)$						

Побудувати годограф Михайлова, відкладаючи за дійсною віссю значення $A(\omega)$ а за уявною – $B(\omega)$.

За виглядом годографа зробити висновок про стійкість системи.

Завдання 3.6.

Розглянемо приклад вирішення завдання.

Нехай дана схема САК, показана на рис. 10. Потрібно записати передаточну функцію даної САК.

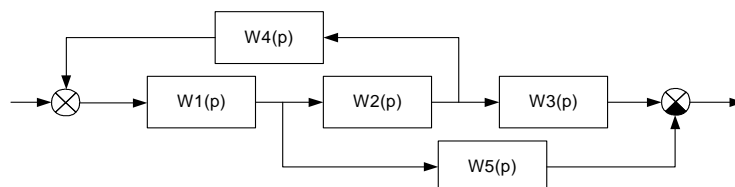


Рис. 10 – Приклад САК для виконання завдання 3.6

Розв'язання завдання розпочинають з аналізу структурної схеми. Як видно з рис. 10, дана САК складається з п'яти елементарних ланок. Ланки $W1(p)$, $W2(p)$, $W3(p)$ з'єднані послідовно, але їх не можна замінити однією ланкою, оскільки між ними є відгалуження. Ланка $W4(p)$ утворює з ланками $W1(p)$, $W2(p)$ зворотній зв'язок, проте їх також не можна замінити однією ланкою, оскільки між ланками $W1(p)$ і $W2(p)$ є відгалуження. Ланка $W5(p)$ з'єднана з ланками $W2(p)$ і $W3(p)$ паралельно, але їх також не можна замінити однією ланкою. Для розв'язання завдання потрібно перетворити структурну схему так, щоб у ній не було перехресного сполучення ланок.

Перетворення структурної схеми, як вказано в розділі 2, здійснюють шляхом переносу відгалужень чи суматорів з входу ланки на її вихід або навпаки. У даному прикладі можна перенести відгалуження зі входу ланки $W2(p)$ на її вихід. Проте при такому перенесенні після відгалуження сигнал перед ланкою $W5(p)$ зміниться, адже він відгалужувався до ланки $W2(p)$ і через неї не

проходив. Щоб сигнал перед ланкою $W5(p)$ не змінився, треба вставити фіктивну ланку, яка робить зворотне перетворення до ланки $W2(p)$. У результаті матимемо еквівалентну схему, показану на рис. 11.

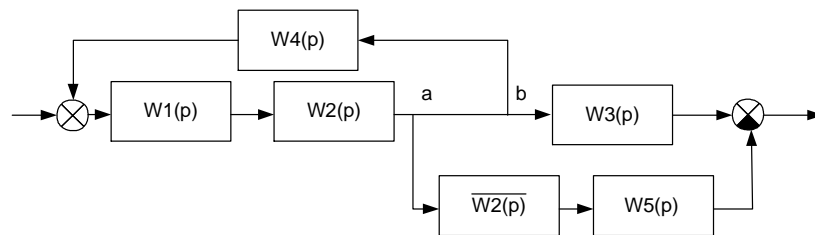


Рис. 11 – Еквівалентна схема для розв’язання завдання, поданого на рис. 10

Що ця схема повністю еквівалентна, можна переконались розглядаючи сигнали на входах кожної з ланок, які є на рис. 10. Сигнал на вході ланки $W5(p)$ залишився незмінним, тому що він пройшов через ланку $W2(p)$ і ланку, яка виконує зворотне перетворення $\overline{W2(p)}$. Сигнали перед іншими ланками залишились незмінними і розміщення ланок також залишилось незмінним.

Наступним кроком поміняємо місцями відгалуження а та б. Ця зміна дозволяється, оскільки в результаті її жоден сигнал не зміниться.

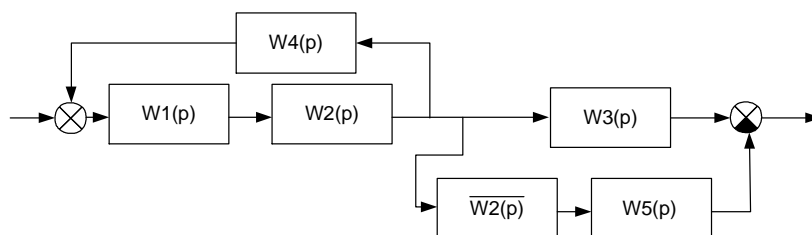


Рис. 12 – Еквівалентна схема після виконання всіх перетворень

Подальше розв’язання завдання зводиться до заміни послідовно і паралельно з’єднаних ланок еквівалентними ланками. Це можна зробити так. Ланки $W1(p)$ і $W2(p)$ з’єднані послідовно. Їх можна замінити однією ланкою з передаточною функцією, рівною добутку передаточних функцій, а саме: $W1(p)W2(p)$. Це ж відноситься і до ланок $\overline{W2(p)}$ та $W5(p)$. У результаті матимемо еквівалентну схему, показану на рис. 13.

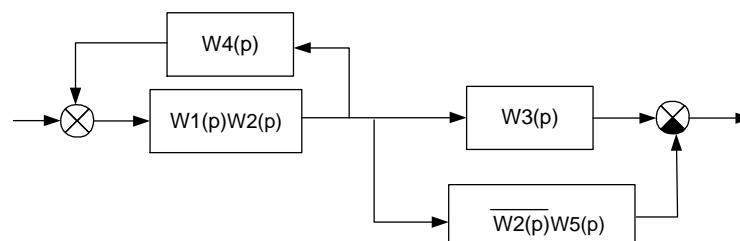


Рис. 13 – Еквівалентна схема після об’єднання ланок

Наступним кроком замінюємо ланки зворотного зв’язку $W1(p)W2(p)$ та $W4(p)$ однією ланкою. Оскільки зворотній зв’язок додатний (сектор суматора не зафарбований), то передаточна функція буде такою:

$$\frac{W1(p)W2(p)}{1 - W1(p)W2(p)W4(p)}.$$

Для паралельно з'єднаних ланок $\overline{W2(p)W5(p)}$ та $W3(p)$ передаточна функція така: $\overline{W2(p)W5(p)} + W3(p)$. Отже, матимемо дві послідовно з'єднані ланки, як це показано на рис.14.

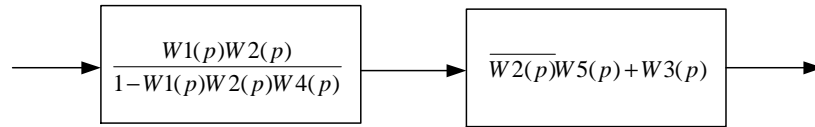


Рис. 14 – Еквівалентна схема САК на останньому кроці знаходження передаточної функції

Передаточна функція дорівнює добутку передаточних функцій, тобто

$$W(p) = \frac{W1(p)W2(p)}{1 - W1(p)W2(p)W4(p)} (\overline{W2(p)W5(p)} + W3(p)).$$

Знайдена передаточна функція є розв'язком завдання.

5. Оформлення курсової роботи

5.1. Курсову роботу оформляють у вигляді пояснювальної записки, що складається з відповідей на запитання згідно з варіантами 3.1 і 3.2 та розв'язком завдань 3.3, 3.4, 3.5, і 3.6.

5.2. Пояснювальну записку виконують в зошитах в клітинку або на аркушах паперу формату А4. Текстову частину пишуть від руки. На кожній сторінці залишають поле шириною 25 – 30 мм для зауважень рецензента.

5.3. На початку пояснювальної записки треба вказати варіант роботи. Під час відповіді на запитання вказують номер завдання, записують запитання і зміст відповіді. Відповідь на наступне запитання слід розпочинати з нової сторінки.

5.4. Текстову частину матеріалу треба ілюструвати рисунками, схемами і графіками. Кожен рисунок повинен мати назву, порядковий номер і звертання на нього в тексті.

5.5. При вирішенні задач потрібно з нової сторінки записати умову задачі згідно з варіантом. Оформлення вирішення треба вести з описом кожної розрахункової операції і записом розрахункової формули. Потім записати числові значення, підставлені у формулу, й результати розрахунку.

5.6. Всі розрахунки треба виконувати з необхідною точністю.

5.7. Помилки, помічені рецензентом, мають бути акуратно виправлені. При великій кількості помилок на сторінці її потрібно переписати і підклеїти до сторінки із зауваженнями рецензента.

5.8. Виконання перерахованих вимог до оформлення курсової роботи є необхідною умовою її зарахування.

6. Список літератури

Основна:

1. Сорока К.О. Теорія автоматичного керування: Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2006, 187 с.
2. Попович М.Г., Ковальчук О.В. . Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
3. Власов К.П. Теория автоматического управления. Учебное пособие. – Харьков: Изд-во «Гуманитарный центр», 2007. – 526 с.

Додаткова:

4. Зайцев Г.Ф. и др. Основы автоматического управления и регулирования. – К.: Техніка, 1977. – 472 с.
5. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.
6. Куропаткин П.В. Теория автоматического управления. – М.: Высш. школа, 1973.
7. Юркевич Е.Н. Теория автоматического управления. – Л.: Энергия, 1969.
8. Куропаткин П.В. Теория автоматического управления. – М.: Высш. школа, 1973.
9. Воронов А.А. Теория автоматического управления. Ч.1. - М.: Высш. школа. 1986.
10. Айзерман М.А. Теория автоматического управления – М.: Высш. школа, 1986.
11. Фельдбаум А.А. Бутковский А.Г. Методы теории автоматического управления. – М. Наука, 1971.
12. Власов К.П., Абраменко К.Г. Методические указания к самостоятельному изучению курса “Теория автоматического управления”. – Харьков: ХИИГХ, 1990.
13. Сорока К.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Теорія автоматичного керування” – Харків: ХДАМГ, 2001. – 55 с.
14. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – М.: Наука, 1972. – 762 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Теорія автоматичного керування” (для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання спеціальностей 7.092201 - “Електричні системи і комплекси транспортних засобів”, 7.092202 - “Електричний транспорт”, 7.092203 - “Електромеханічні системи автоматизації та електропривод”)

Укладачі: Сорока Костянтин Олексійович,
Личов Дмитро Олександрович

Редактор: М.З. Аляб'єв

План 2008, поз. 269 М

Підп. до друку 04.03.08	Формат 60x84 1/16	Папір офісний
Друк на ризографі	Умовн.-друк. арк. 2,1	Обл.-вид. арк. 2,6
Замовл. №	Тираж 250 прим.	

61002 Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12

Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХНАМГ
61002 Харків, вул. Революції, 12